(cc) BY

***Сковпин Михаил Сергеевич***
аспирант
***Сковпин Николай Сергеевич***
магистрант
***Лапшина Марина Леонидовна***
д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
г. Воронеж, Воронежская область

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

***Аннотация****: в данной статье рассматривается задача планирования телекоммуникационных сетей на примере сетей сотовой связи. Авторами показан многокритериальный подход к ее решению. Рассматриваются методики построения зон покрытия базовых и абонентских станций.*

***Ключевые слова****: телекоммуникационные сети, сети сотовой связи, планирование, зоны покрытия, автоматизация, генетические алгоритмы.*

*Введение*

За последние 10 лет огромный успех мобильных телефонных систем послужил стимулом для развития технологий и внес большой вклад в подходы к математическому моделированию и алгоритмы оптимизации проектирования и принятия управленческих решений. На этапе строительства и эксплуатации телекоммуникационной сети оператор заинтересован в том, чтобы сеть соответствовала необходимым критериям надежности и качества предоставляемых услуг.

Системы мобильной связи предоставляют телекоммуникационные услуги через базовые станции (БС), которые поддерживают соединение с мобильными станциями (МС), находящимися в ее зоне обслуживания. Эта зона называется сотой и представляет собой набор точек, в которых интенсивность получаемого

от рассматриваемой БС сигнала выше сигнала, получаемого от остальных станций. Мощность получаемого сигнала зависит от мощности передатчика, эффектов затухания сигнала на пути его распространения (из-за удаленности приемника, многолучевого эффекта и затенения препятствиями), а также от характеристик антенны и параметров БС (высота, ориентация и диаграмма направленности). В результате, соты имеют различную форму и размер [1].

Задача покрытия территории сетью базовых станций может быть сформулирована следующим образом: на заданной территории необходимо обеспечить предоставление услуг, определить места установки БС и выбрать их конфигурации таким образом, чтобы каждая точка (пользователь) в зоне обслуживания получала достаточно сильный сигнал. Так как стоимость каждой БС может зависеть от места ее установки и конфигурации, то решением поставленной задачи обычно является минимизация общей стоимости развертывания системы с учетом обеспечения заявленных услуг на всей зоне обслуживания.

При проектировании сотовой радиосети необходимо учитывать множество аспектов, включающее расчеты трафика, распространение сигналов, расположение антенн, распределение емкости, контроль мощности и интерференции [2]. Иногда можно найти оптимальное решение, удовлетворяющее всем критериям. Однако чаще всего критерии не согласованы друг с другом и изменения в одном критерии ведут к изменениям в других. В таком случае в качестве решения будет выбран компромисс между заданными критериями. При этом инженеру планирования необходимо рассматривать наилучшие возможные варианты построения телекоммуникационной сети.

*Построение зон покрытия базовых и абонентских станций*

Алгоритм построения зон обслуживания БС можно представить в следующем виде (рис. 1):

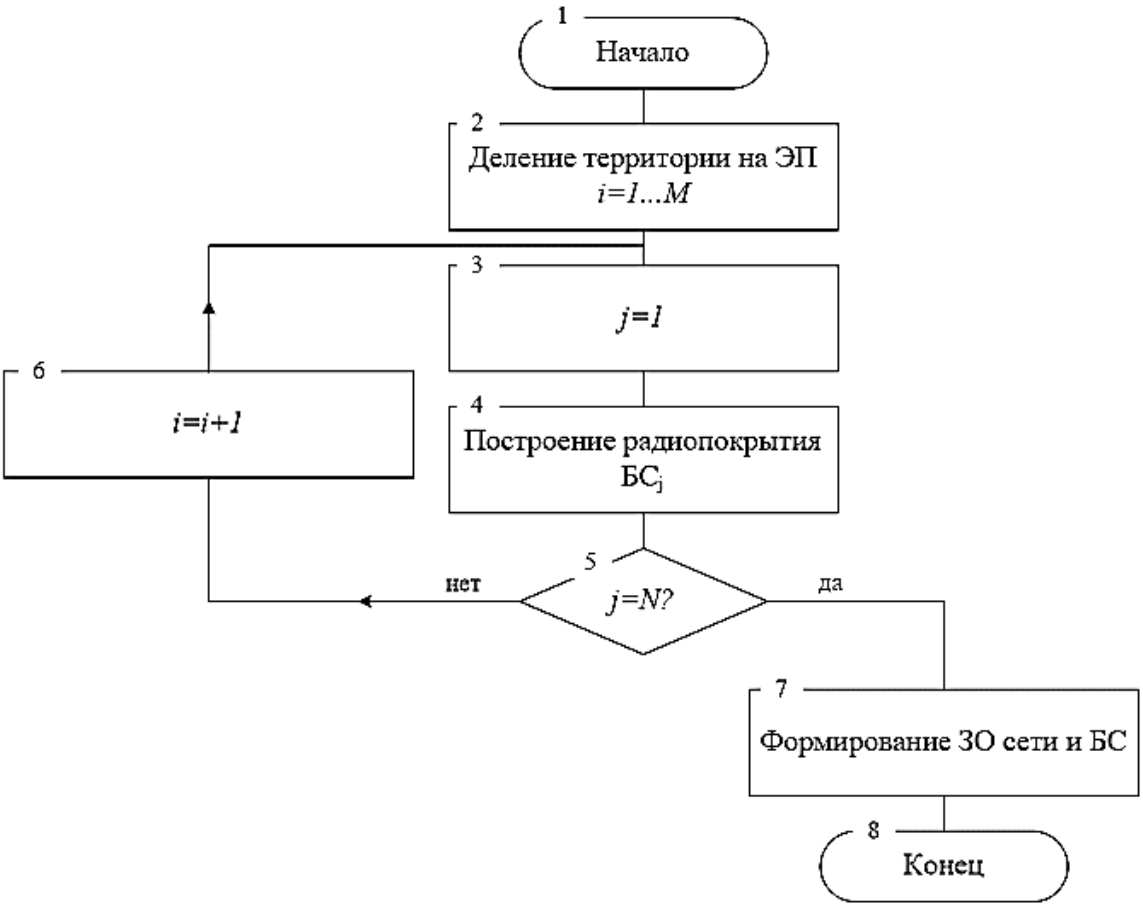


Рис. 1. Блок-схема алгоритма построения зон обслуживания

В результате построения радиопокрытия каждой базовой станции и соответствующих абонентских (мобильных) станций образуется множество зон покрытия, состоящих из элементарных площадок, изображаемых в виде квадратов с центром в точке с координатами $(Ш_i, Д_i)$ и имеющих следующий набор атрибутов [3]:

– порядковый номер, $ID_i^j$;

– уровень сигнала на входе приемника МС, создаваемый передатчиком БС, $P_{BSi}{}^j$, дБВт;

– уровень сигнала на входе приемника БС, создаваемый передатчиком МС, $P_{MSi}{}^j$, дБВт;

– ослабление сигнала на трассе БС-МС, $L_i^j$, дБ;

– длина трассы, $D_i^j$, км;

– азимут направления БС – МС, $az_{12i}^{j}$, град;

– азимут направления МС – БС, $az_{21i}^{j}$, град;

– коэффициент усиления антенны БС, $G_{BSi}^{j}$, дБ;

– коэффициент усиления антенны МС, $G_{MSi}^{j}$, дБ.

Перечисленные параметры рассчитываются для каждого i-го фрагмента территории и j-ой БС следующим образом (рис. 2):

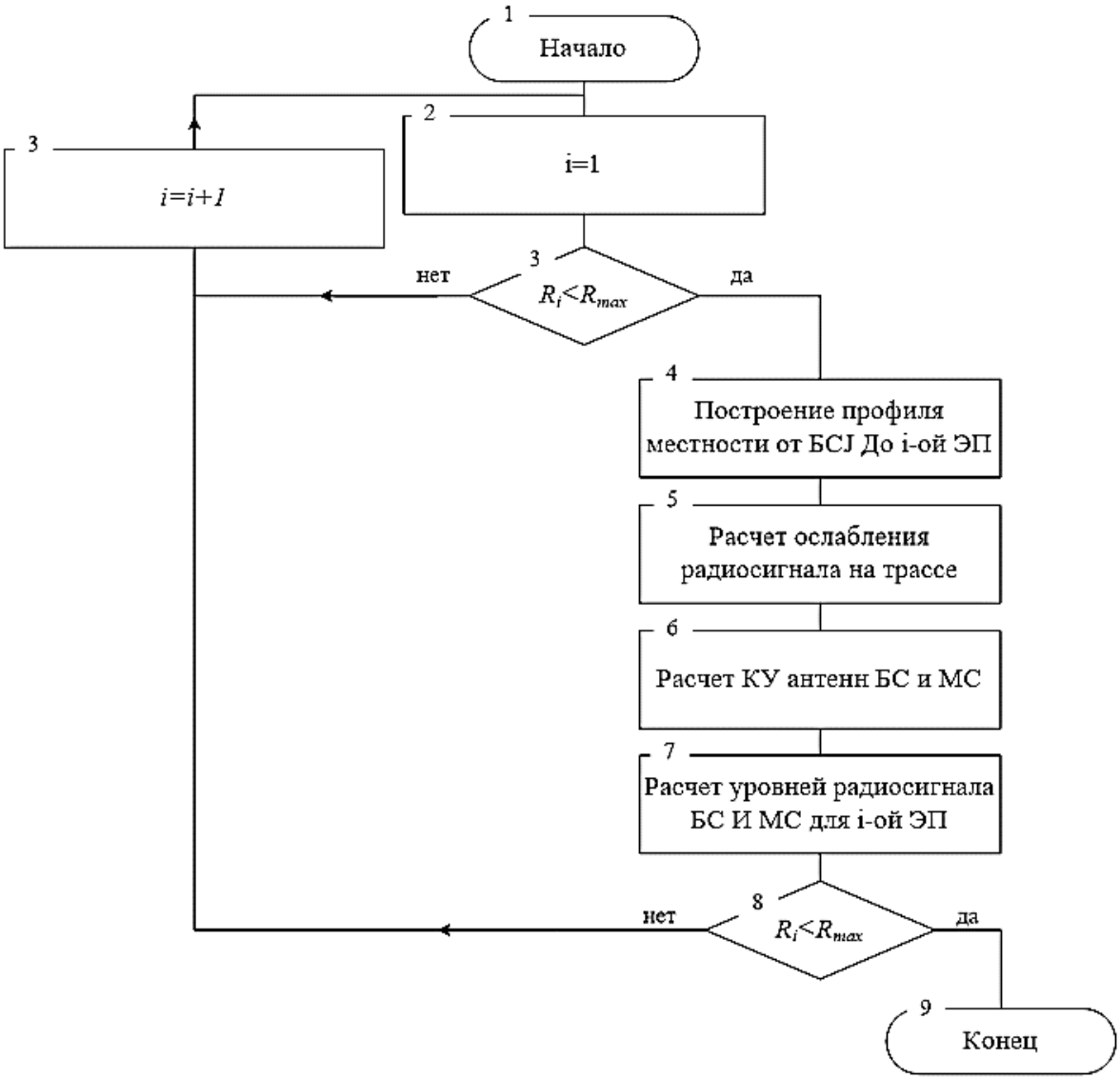


Рис. 2. Блок-схема алгоритма построения радиопокрытия БС

1. С помощью значений координат рассчитывается расстояние $r_i$ между БС и ЭП, если оно превышает $R_{\max}$, то осуществляется переход к следующей ЭП. $R_{\max}$ рассчитывается следующим образом:

$$R_{\max} = 0,05 \cdot 10^{\min(Z_1, Z_2)}$$

где $Z_1 = P_{prdBS} - P_{prmMS} + G_{\max BS} - L_{prdBS} + G_{\max MS} - L_{prmMS} - 32,45 - 20\lg(f_{prd})$,

$Z_2 = P_{prdMS} - P_{prmBS} + G_{\max MS} - L_{prdMS} + G_{\max BS} - L_{prmBS} - 32,45 - 20\lg(f_{prm})$,

$L_{prdMS}$ – потери в антенно-фидерном тракте передатчика МС, дБ,

$L_{prmMS}$ – потери в антенно-фидерном тракте приемника МС, дБ,

$L_{prdBS}$ – потери в антенно-фидерном тракте передатчика БС, дБ,

$L_{prmBS}$ – потери в антенно-фидерном тракте приемника БС, дБ.

2. Строится профиль трассы, с помощью которого определяется длина трассы $Dist_i^j$ и высоты антенн $h_{BS}$ и $h_{MS}$ над уровнем моря.

3. По алгоритму, описанному в рекомендации МСЭ Р.1546, определяется ослабление радиосигнал на трассе $L_i^j$ [4].

4. Рассчитывается коэффициент усиления антенн, для этого:

4.1. Для антенны БС рассчитывают угловое отклонение от оси основного лепестка в горизонтальной плоскости:

$$\varphi = \begin{cases} az_{12i}^{\ j} - az_{BS} & -180 \le az_{12i}^{\ j} - az_{BS} \le 180 \\ \left| az_{12i}^{\ j} - az_{BS} \right| - 360 & az_{12i}^{\ j} - az_{BS} > 180 \\ 360 - \left| az_{12i}^{\ j} - az_{BS} \right| & az_{12i}^{\ j} - az_{BS} < -180 \end{cases}$$

4.2. Далее, рассчитывается угловое отклонение от оси основного лепестка передающей антенны БС в вертикальной плоскости:

$$\alpha = \Delta_{BS} - \delta, \text{ град,}$$

где

$$\delta = \begin{cases} \dfrac{180}{\pi} \cdot \dfrac{(h_{BS} - h_{MS})}{Dist_i^j}, если\ Dist_i^j < 130,4\left(\sqrt{h_{BS}} + \sqrt{h_{MS}}\right) \\ 0, если\ Dist_i^j \ge 130,4\left(\sqrt{h_{BS}} + \sqrt{h_{MS}}\right) \end{cases}, \text{ град,}$$

$\Delta_{BS}$ – угол возвышения антенны, град.

4.3. Рассчитываются коэффициенты усиления $G_H(\varphi), G_V(\alpha)$ с помощью парциальных диаграмм направленности.

4.4. Рассчитывается коэффициент усиления антенны БС:

$$G_{BSi}^{\ j} = G_{\max BS} + G_H(\varphi) + G_V(\alpha)$$

4.5. Аналогично, рассчитывается коэффициент усиления для МС $G_{MSi}^{\ j}$

4.6. Рассчитываются уровни сигнала на входах приемников МС, создаваемые передатчиками БС и уровни сигналов на входах приемников БС, создаваемые передатчиками МС:

$$P_{MSi}^{\ j} = P_{prdBS} + G_{BSi}^{\ j} - L_{prdBS} + G_{MSi}^{\ j} - L_{prmMS} - L_i^j$$

$$P_{BSi}^{\ j} = P_{prdMS} + G_{MSi}^{\ j} - L_{prdMS} + G_{BSi}^{\ j} - L_{prmBS} - L_i^j$$

Таким образом, зона обслуживания каждой БС формируется по результатам анализа всей совокупности элементов множеств зон покрытия, в виде множества зон обслуживания. Зона обслуживания сети состоит из зон обслуживания всех БС, то есть является совокупностью всех множеств $ЗО^j$.

*Оптимизация проектных решений*

В настоящее время для решения задач оптимизации появилось множество методов, называемых метаэвристиками – стратегий высокого уровня, управляющих эвристиками низкого уровня. Различают методы траекторий (табу-поиск, моделируемый отжиг), сохраняющие одно решение и популяционные методы (методы муравьиной колонии, эволюционное моделирование), сохраняющие конечное множество (популяцию) решений. В данной статье будут рассматриваться генетические алгоритмы как адекватная реализация процедур эволюционного моделирования [5].

Первым шагом к получению приемлемого решения заданной проблемы должна стать разработка модели передатчика базовой станции. Для упрощения расчетов, передатчики можно задавать, используя 4 параметра: 2 для задания координаты (X и Y), 1 – для радиуса круговой диаграммы покрытия и 1 для указания включения передатчика в решение.

Также необходимо найти функцию, описывающую пригодность модели передатчика. Для этой цели можно выделить 2 параметра [6; 7]:

– процент покрытия заданной области;

– стоимость ресурсов для обеспечения заданного покрытия.

Таким образов вид данной функции будет следующим:

$$Fitness = f\left(покрытие,\ стоимость\right)$$

Необходимо помнить, что ресурсы могут отличаться по своим параметрам.

Исходя из гипотезы о том, что надо стремиться к минимизации целевой функции, необходимо рассчитывать не процент покрытия, а процент непокрытой предлагаемым решением территории.

После учета данных замечаний и допущения о том, что существует i видов ресурсов с различными радиусами области покрытия, целевая функция будет выглядеть следующим образом:

$$F = \alpha\left(1 - \frac{\Delta}{A_{tot}}\right) + \beta\sum n_i c_i$$

где $A_{tot}$ – общая площадь заданной области;

$\Delta$ – площадь покрытой ресурсами области;

$n_i$ – число активных ресурсов с радиусами $R_i$ и соответственно;

$c_i$ – факторы, характеризующие стоимость ресурсов;

$\alpha$ и $\beta$ – весовые коэффициенты.

В общем виде схема решения будет выглядеть следующим образом (рис. 3):

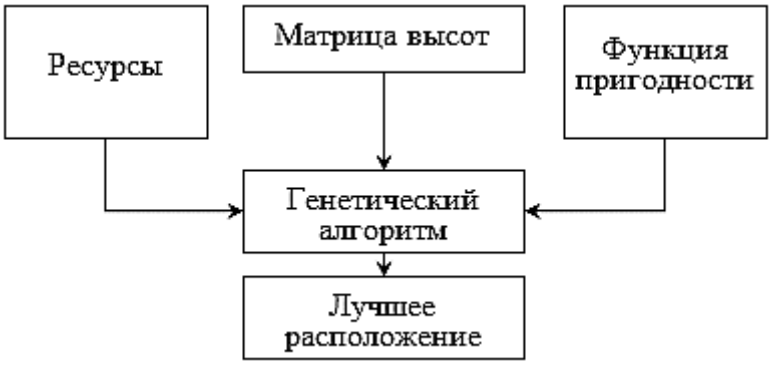


Рис. 3. Общая схема получения оптимального решения

Таким образом, предложенная технологическая схема получения оптимального решения на основе многокритериального подхода позволяет автоматизировать трудоемкие процедуры проектирования телекоммуникационных сетей.

***Список литературы***

1. Бабков В.Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007.

2. Берлин А.Н. Цифровые сотовые системы связи / А.Н. Берлин. – М.: Эко-Трендз, 2007. – 296 с.

3. Amaldi E. Optimization problems and models for planning cellular networks / E. Amaldi, A. Capone, F. Malucelli, C. Mannino. – Handbook of optimization in telecommunications, Springer US. – 2006. – С. 917–939.

4. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz / RECOMMENDATION ITU-R P.1546–1. – Geneva: ITU, 2010.

5. Сетлак Г. Решение задач многокритериальной оптимизации с использованием генетических алгоритмов / Г. Сетлак. – Киев: Системные исследования и информационные технологии, 2002.

6. Сковпин М.С. Планирование и оптимизация сетей сотовой связи // М.С. Сковпин, М.Л. Лапшина // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. – Т. 9. – №6–3. – С. 81–84.

7. Bezruk V Multicriteria Optimization in Telecommunication Networks Planning // V. Bezruk, A. Bukhanko, D. Chebotaryova, V. Varich. Designing and Controlling, Telecommunications Networks. – Current Status and Future Trends, 2012. – P. 251–274.